

cally dangerous substance in the atmospheric air. An equation is considered that is conjugate to the mass transfer equation. With the help of this equation, a zone is determined where the location of the emission source can lead to the emergence of dangerous concentrations, for a certain time, at the point of "interest". This information makes it possible to identify subzones where the emission of a dangerous substance, in case of an accident, a terrorist act will lead to undesirable consequences. For the solution of the conjugate problem, the approach proposed by G.I. Marchuk.

Results. On the basis of the developed numerical model, it is possible to carry out solutions as a direct problem – the calculation of contamination zones in the atmosphere at a known position of the emission source and the associated problem. The results of a numerical experiment are presented.

Scientific novelty. A new numerical model is proposed that allows solving an associated problem in the field of atmospheric air pollution during the emission of chemically hazardous substances – to identify areas where the emission of a pollutant can lead to undesirable consequences at the point of "interest". The model can be used to perform serial calculations in developing a plan for eliminating a dangerous situation. The model makes it possible to take into account the influence of meteorological conditions in a given region, atmospheric diffusion, emission power during a computational experiment.

Practical significance. 2D numerical model is proposed for solving the related problem in the field of environmental safety: selecting zones where the emission of a hazardous substance can lead to undesirable results at the point of "interest". The model makes it possible to identify subzones where the conduct of an act of terrorism is extremely dangerous.

Keywords: conjugate task, atmosphere pollution, emission of chemically hazardous substances.

УДК 519.6

© М. Biliaiev, M. Lemesh, O. Savina, V. Tsurkan

BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT IN AERATION TANKS

© М.М. Біляєв, М.В. Лемеш, О.П. Савіна, В.В. Цуркан

БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ

Purpose. Development of mathematical model for prediction of output parameters of aeration tank with account of dissolved oxygen, oxygen, sludge, substrate transfer and biological treatment. The mathematical model may be used in predicting the effectiveness of aeration tank under different regimes of work.

Methodology. To simulate the process of biological wastewater treatment in aeration tank mathematical model was developed. This model is based on the set of differential equations which describe fluid dynamic process and biological process in aeration tank. The flow field in the aeration tank is simulated on the basis of potential flow model. This model allows to predict quickly flow pattern in the aeration tank. To simulate the process of sludge, substrate, oxygen, diluted oxygen transfer 2-D transport equations are used. To simulate the process of biological treatment simplified model is used which takes into account the process of sludge growth and substrate extinc-

tion. For the numerical integration of transport equations implicit difference scheme is proposed. The difference scheme is built on splitting transport equations. To solve the splitting equations implicit difference scheme was used. For the numerical integration of potential flow equation the implicit scheme of conditional approximation was used. To solve ordinary equations which describe the biological process in the aeration tank Eurler's method was used. On the basis of constructed mathematical it is possible to carry out computer experiment to investigate the process of biological treatment in aeration tank. FORTRAN language was used to develop code.

Findings. A set of differential equations was proposed to simulate the process of wastewater biological treatment in the aeration tank. The model takes into account the dissolved and not dissolved oxygen transfer in aeration tank. The model can be used to obtain aeration tank parameters under different regimes of work. The model developed takes into account the main fluid dynamics parameters in the aeration tank. To implement the developed model the common input parameters are needed.

Originality. Mathematical model which takes the main physical and biological features of wastewater biological treatment in the aeration tank was proposed. The model takes into account substrate, sludge, oxygen, dissolved oxygen transport in aeration tank and process of biological treatment.

Practical implications. Efficient mathematical model, so called «diagnostic models» was proposed for quick calculation of biological treatment process in aeration tank.

Keywords: *biological treatment; mathematical simulation; aeration tank*

Introduction. It is well known that the efficiency of aeration tanks (AT) strongly depends on the dissolved oxygen (DO) concentration. Prediction of DO concentration is a difficult problem because it depends on the number of factors which are changing in time. At the stage of AT design or it's reengineering we must predict DO concentration under new conditions of work of AT. To solve this problem it is important to have mathematical models which do not consume much computational time and are physically based.

At present mathematical models which are used for aeration tank calculation includes empirical models [5, 7], balance models [3, 4, 8, 16], analytical models [6, 9], CFD models [1, 2, 10-14]. CFD models allow to reproduce geometrical form of AT (that is very important because in this case we can study influence of fluid dynamics regimes on the mass transfer in AT) but these models are very time consuming. Other models are widely used during aeration tank design but the models have some limitations.

Purpose. The goal of this work is the development of mathematical model to simulate the process of biological wastewater with account of dissolved oxygen transfer in aeration tank.

Mathematical model. Biological waste water treatment includes different processes and to take all of them into account is practically impossible. Also it is known that more complicated mathematical model of AT needs more input data which sometimes are very difficult to find. That is why different researchers make simplifications to develop robust mathematical model.

To simulate the process of biological treatment in AT, we split, at the differential level, the governing equations into two groups. The first group of equations describe the convective- diffusive process in aeration tank. This process includes trans-

fer of substrate, sludge, oxygen and dissolved oxygen in water inside AT. To simulate this process we use the following equations:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{ grad } C) \quad (1)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{ grad } S) \quad (2)$$

$$\frac{\partial O}{\partial t} + \frac{\partial uO}{\partial x} + \frac{\partial (v+w)O}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{ grad } O) \quad (3)$$

$$\frac{\partial DO}{\partial t} + \frac{\partial uDO}{\partial x} + \frac{\partial vDO}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{ grad } DO) \quad (4)$$

where $C(x, y) = \frac{1}{H} \int_0^H C(x, y, z) dz$ – is the averaged concentration of substrate; H – is the depth of the aeration tank; $S(x, y)$ – is the averaged concentration of sludge for biological treatment; $O(x, y)$ – is the averaged concentration of oxygen in air which is injected into aeration tank; $DO(x, y)$ – is the averaged concentration of dissolved oxygen in water; u, v – are the flow velocity components in x, y direction respectively; w – is lifting speed of air bubbles which are injected from the holes in aeration tank; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – are the coefficients of turbulent diffusion in x, y direction respectively; t – is time.

All equations in set (1-4) are equations of convective - diffusive admixture transfer in water. The boundary conditions for these equations we describe, as an example, for equation of substrate transfer only. They are as following:

– at the inlet opening of AT the boundary condition is

$$C = C_{in},$$

where C_{in} is known concentration of substrate;

– at the outlet opening of AT the boundary condition in the numerical model is written as follows

$$C(i+1, j) = C(i, j)$$

where $C(i+1, j)$ is concentration at the last computational cell; $C(i, j)$ are concentration at the previous computational cell;

– at the solid walls or any “solid intrusions” in AT (for example, different fins, etc) the boundary condition is

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0,$$

where n is normal vector to the boundary.

The initial condition, for $t = 0$, is

$$C = C_0,$$

where C_0 is known concentration of substrate in computational domain.

To describe the biological process in the aeration tank and oxygen supply we use the following equations

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{\mu(t)}{Y}S(t), \quad (5)$$

$$\frac{dS}{dt} = \mu(t)S - K_d S, \quad (6)$$

$$\frac{dO}{dt} = \sum_1^n Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) - K_L a (DO_{\max} - DO), \quad (7)$$

$$\frac{dDO}{dt} = K_L a (DO_{\max} - DO) \quad (8)$$

where μ is biomass growth rate; Y is biomass yield factor; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ is Dirac's delta function; DO_{st} is saturation concentration of oxygen in water; K_d is coefficient associated with biomass death; $K_L a$ is mass transfer coefficient; Q – is intensity of oxygen supply from blowers into aeration tank.

To calculate biomass growth rate Monod law is used.

As the initial condition for each equations (5)-(8), at each time step, we use the meaning of corresponding values obtained after computing equations of mass transfer (1-4).

To solve Eq.1-4 it is necessary to know the flow field in aeration tank. To simulate this flow field we use model of potential flow. In this case the governing equation is

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (9)$$

where P is the potential of velocity.

The velocity components are calculated as follows:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (10)$$

Boundary conditions for equation (9) are described in [5]:

Numerical solution. To perform numerical integration of governing equations we used rectangular grid.

To solve equation (9) we used Libman's finite difference scheme. In this case the governing Eq.(9) is approximated as follows

$$\frac{P_{i+1,j} - 2P_{i,j} + P_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{P_{i,j+1} - 2P_{i,j} + P_{i,j-1}}{\Delta y^2} = 0, \quad (11)$$

Value $P_{i,j}$ is calculated from (8) as

$$P_{i,j} = \left[\frac{P_{i+1,j} + P_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{P_{i,j+1} + P_{i,j-1}}{\Delta y^2} \right] / A, \quad (12)$$

where
$$A = \left(\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta y^2} \right).$$

The calculation on the basis of these formulae is complete if the following condition is fulfilled:

$$|P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^n| \leq \varepsilon,$$

where ε is a small number; n is iteration number.

To solve Eq. 12 it is necessary to set the initial field of $P_{i,j}$ in computational region.

If we know field of P in computational domain we can compute velocity components at the side of computational cells using following expressions

$$u_{i,j} = \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta x}, \quad (13)$$

$$v_{i,j} = \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta y}. \quad (14)$$

To solve Eq.(1 – 4) change – triangle difference scheme was used.

The main features of finite difference scheme to integrate the mass are shown below. Time dependent derivative is approximated as follows:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j}^n}{\Delta t}.$$

The convective derivatives are represented as:

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}, \quad \frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y},$$

where
$$u^+ = \frac{u + |u|}{2}; \quad u^- = \frac{u - |u|}{2}; \quad v^+ = \frac{v + |v|}{2}; \quad v^- = \frac{v - |v|}{2},$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{i,j} - v_{ij}^+ C_{i,j-1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1} - v_{ij}^- C_{i,j}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1}.$$

The second order derivatives are approximated as

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} - \tilde{\mu}_x \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta y^2} - \tilde{\mu}_y \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}.$$

At the next step we write the finite difference scheme of splitting:

– at the first step $k = \frac{1}{4}$:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{i,j}^{n+k} - C_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{i,j}^k = \\ & = \frac{1}{4}(M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n), \end{aligned}$$

– at the second step $k = n + \frac{1}{2}$; $c = n + \frac{1}{4}$:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{i,j}^k - C_{i,j}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{i,j}^k = \\ & = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c), \end{aligned}$$

– at the third step $k = n + \frac{3}{4}$; $c = n + \frac{1}{2}$:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{i,j}^k - C_{i,j}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{i,j}^k = \\ & = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c), \end{aligned}$$

– at the fourth step $k = n + 1$; $c = n + \frac{3}{4}$:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{i,j}^k - C_{i,j}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{i,j}^k = \\ & = \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k). \end{aligned}$$

This difference scheme is implicit and absolutely steady. The unknown concentration C is calculated using the explicit formulae at each step («method of running calculation»).

Euler's method was used to solve Eq. (5 – 8). For coding difference equations FORTRAN language was used.

Findings. New mathematical model was proposed to simulate the biological wastewater treatment in aeration tank. The model takes into account the more important processes which take place in aeration tank.

Originality and practical implications. The model is based on the 2-D transport equations of substrate, sludge, oxygen and dissolved oxygen transfer in aeration tank and simplified equations of biological treatment. The developed model can be useful in aeration tanks design.

Conclusions. The article contains description of new mathematical model to solve the problem of wastewater biological treatment in aeration tank (ration tank of

displacement type). The future work in this field will be connected with development of fluid dynamics model which takes into account oxygen transfer in the aeration tank.

List of reference links

1. Беляев, Н.Н., Козачина, В.А., Росточило, Н.В. (2015). *Математическое моделирование массопереноса в горизонтальных отстойниках: монография*. – Д.: Акцент ПП.
2. Беляев, Н.Н., Нагорная, Е.К. (2012). *Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения: монография*. –Д: Изд. Нова ідеологія.
3. Горносталь, С.А., Уваров, Ю.В. (2011). Исследование зависимости концентрации загрязнений в очищенной воде на выходе из аэротенка в процессе биологической очистки. *Збір-ка наук. пр. «Проблеми надзвичайних ситуацій»*, (14), 65-69.
4. Козачек, А.В., Авдашин, И.М., Лузгачев, В.А. (2014). Исследование математической модели процесса аэробной очистки сточных вод как стадия оценки качества окружающей водной среды. *Вестн. Тамбов. техн. ун-та.*, (19(5)), 1683-1685.
5. Колобанов, С.К., Ершов, А.В., Кигель, М.Е. (1997). *Проектирование очистных сооружений канализации*. Киев: Будівельник.
6. Олійник, О.Я., Айрапетян, Т.С. (2015). Моделивання очистки стічних вод від органічних забруднень в біореакторах-аэротенках зі зваженим (вільно плаваючим) і закріпленим біоценозом. *Доповіді НАН України*, (5), 55-60.
7. Карелин, Я.А., Жуков, Д.Д., Журов, В.Н., Репин Б.Н. (1973). *Очистка производственных сточных вод в аэротенках*. Москва: Стройиздат, 223 с.
8. Святенко, А.І., Корнієнко, Л.М. (2009). Важливість урахування особливостей біологічного очищення в аэротенках для поліпшення показників їх роботи. *Екологічна безпека*. (4(8)), 93-96.
9. Олейник, Я.А., Калугин, Ю.И., Степовая, Н.Г., Зябликов, С.М. (2004). Теоретический анализ процессов осаждения в системах биологической очистки сточных вод. *Прикладна гідромеханіка*, 6(78), 62-67.
10. Biliaiev, M., Kozachyna V. (2015). Numerical determination of horizontal settlers performance. *Наука та прогрес транспорту*, 4(58), 34-43. doi: 10.15802/STP2015/49201.
11. Hadad, H., Ghaderi, J. (2015). Numerical Simulation of the Flow Pattern in the Aeration Tank of Sewage Treatment System by the Activated Sludge Process Using Fluent Program. *Biological Forum*, 7(1), (pp. 382-393).
12. Ilie, M., Robescu, D., Chita, G. (2009). Modeling and simulation of Organic Matter Biodegradation Processes in Aeration Tanks with Activated Sludge. *REVISTA DE CHIMIE București-România*, 60(5), (pp. 529-532).
13. Kozachyna, V. (2015). Investigation of admixture sedimentation in the horizontal settler. *Наука та прогрес транспорту*, 4(64), 7-14. doi 10.15802/stp2016/77827.
14. Mocanu, C., Mihailescu R. (2012). Numerical simulations of wastewater treatment aeration processes. *U.P.B. Scientific Bulletin, Series D*, 2(74), (pp. 191-198).
15. Masmoudi, S., Kallel, A., Taieb, D., Kachouri, A. (2017). Modeling based decision for smart city environmental alert system for accidental air pollution. *2017 International Conference on Smart, Monitored and Controlled Cities (SM2C)* (pp. 96-100). doi: 10.1109/SM2C.2017.8071826
16. Ki-Eun Kim, Ja Eun Jung, Yunah Lee, Dong Soo Lee (2018). Ranking surface soil pollution potential of chemicals from accidental release by using two indicators calculated with a multimedia model (SoilPCA). *Ecological Indicators. Environmental Planning Institute, Graduate School of Environmental Studies*, (85), (pp. 664-673). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.010>.
17. Foat, T., Nally, J., Parker, S. (2017). Investigating a selection of mixing times for transient pollutants in mechanically ventilated, isothermal rooms using automated computational fluid dy-

namics analysis *Building and Environment*, (118), (pp. 313-322).
dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.011

АНОТАЦІЯ

Мета. Розробка числової моделі для прогнозування вихідних параметрів аеротенку з урахуванням перенесення розчиненого кисню. Чисельна модель може бути використана для прогнозування ефективності аеротенку при різних режимах роботи.

Методика досліджень. Для моделювання процесу біологічної очистки стічних вод в аеротенках була розроблена математична модель. Поле потоку в аеротенках моделюється на основі моделі потенційного потоку. 2-D рівняння переносу використовуються для моделювання транспорту забруднювача, кисню, розчиненого кисню, мулу в аеротенках. Для моделювання процесу біологічної обробки використовується спрощена модель, яка враховує процес зростання мулу і його відмирання. Для чисельного інтегрування рівнянь переносу використовувалася неявна різницева схема. Різницева схема побудована для розщеплення рівнянь переносу. Розщеплення рівняння переносу на два рівняння виконується на диференціальному рівні. Перше рівняння розщеплення враховує рух осаду або субстрату по траєкторіях. Друге рівняння розщеплення враховує дифузний процес субстрату або осаду. Для вирішення рівнянь розщеплення використовувалася неявна різницева схема. Для чисельного інтегрування рівняння потенційного потоку використовувалася неявна схема умовної апроксимації. Розроблена математична модель дозволяє зменшити частку фізичного експерименту при розробці та реконструкції аеротенків.

Результати дослідження. Розроблено математичну модель, яка включає в себе систему рівнянь, що описують транспорт забруднювача, активного мулу, кисню, розчиненого кисню в аеротенках та процеси біологічного очищення стічних вод. Модель може використовуватися для отримання вихідних параметрів аеротенка при різних режимах його роботи.

Наукова новизна. Запропоновано систему диференціальних рівнянь для моделювання процесів транспорту та біологічної очистки стічних вод в аеротенку. Модель враховує основні гідродинамічні і біологічні процеси, що проходять в аеротенку. Модель може бути використана для оцінки ефективності роботи аеротенка.

Практичне значення. Запропоновано ефективну математичну модель, що належить до класу «діагностичні моделі» для швидкого розрахунку процесу біологічної очистки стічних вод в аеротенках.

Ключові слова: біологічне очищення, математичне моделювання, аеротенк

АННОТАЦИЯ

Цель. Разработка математической модели для прогнозирования выходных параметров аэротенка с учетом переноса растворенного кислорода. Математическую модель можно использовать для прогнозирования эффективности аэротенках при различных режимах работы.

Методика исследований. Для моделирования процесса биологической очистки сточных вод в аэротенке была разработана математическая модель. Поле потока в аэротенке моделируется на основе модели потенциального потока. 2-D уравнения переноса используются для моделирования транспорта загрязнителя, кислорода, растворенного кислорода, ила в аэротенке. Для моделирования процесса биологической обработки используется упрощенная модель, которая учитывает процесс роста ила и его отмирания. Для численного интегрирования

уравнений переноса використовувалась неявна різностна схема. Різностна схема побудована для розщеплення рівнянь переноса. Розщеплення рівняння переноса на два рівняння виконується на диференціальному рівні. Перше рівняння розщеплення враховує рух осадинок або субстрату по траєкторіям. Друге рівняння розщеплення враховує дифузійний процес субстрату або осадинок. Для розв'язання рівнянь розщеплення використовувалась неявна різностна схема. Для чисельного інтегрування рівняння потенціального потоку використовувалась неявна схема умовної апроксимації. Розроблена математична модель дозволяє зменшити частку фізичного експерименту при розробці та реконструкції аэротенків.

Результати досліджень. Розроблена математична модель, яка включає в себе систему рівнянь, що описують транспорт забруднювача, активного іла, кисню, розчиненого кисню в аэротенку та процеси біологічної очистки стічних вод. Модель може використовуватися для отримання вихідних параметрів аэротенку при різних режимах його роботи.

Научна новизна. Представлено систему диференціальних рівнянь для моделювання процесів транспорту та біологічної очистки стічних вод в аэротенку. Модель враховує основні гідродинамічні та біологічні процеси, що відбуваються в аэротенку. Модель може бути використана для оцінки ефективності роботи аэротенку.

Практичне значення. Представлено ефективну математичну модель, що належить до класу «діагностичні моделі» для швидкого розрахунку процесу біологічної очистки стічних вод в аэротенку.

Ключові слова: біологічна очистка, математичне моделювання, аэротенк

УДК 622.457:519.6

© М.М. Біляєв, Т.І. Русакова

ПРОГНОЗ ЛОКАЛЬНИХ ЗОН ЗАБРУДНЕННЯ БІЛЯ АВТОМАГІСТРАЛІ З УРАХУВАННЯМ РОСЛИННОСТІ

© М. Biliaiev, T. Rusakova

FORECASTING OF LOCAL POLLUTION ZONES NEAR THE MOTORWAY TAKING INTO ACCOUNT THE VEGETATION

Мета дослідження. Розробка чисельної моделі для прогнозу локальних зон забруднення біля автомагістралі з урахуванням рослинності.

Методика. Метод чисельного розрахунку концентрації забруднювача в атмосферному повітрі ґрунтується на вирішенні двовимірного рівняння масопереносу забруднення, що безпосередньо надходить від автомагістралі. Методика враховує процес сорбції рослинністю, що росте вздовж автомагістралі, а також наявність бар'єру (загорожі) попереду рослинності. Чисельна модель ґрунтується на розв'язанні рівнянь за допомогою неявних різницевоїх схем.

Результати. Налаштовано комп'ютерну програму для оцінки поля концентрації домішки в атмосферному повітрі в наслідок емісії забруднення, що потрапляє від автомагістралі. Ця розробка включає в себе модуль, що враховує процес сорбції рослинністю, яка безпосеред-